

تحول در آموزش زیست‌شناسی با استفاده از دوربین‌های مادون قرمز

فیروزه علویان^۱

دریافت: ۱۴۰۰/۶/۲ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۲۱

چکیده

تصویربرداری حرارتی فرصت‌های جدیدی برای مطالعه مفاهیم و فرایندهای زیست‌شناسی فراهم می‌کند. به‌عنوان مثال می‌توان به استفاده از دوربین‌های مادون‌قرمز (IR) در فعالیتهای آموزشی برای کشف انتقال و تحول انرژی در فیزیولوژی انسان، تنظیم مجدد حرارت بدن حیوانات و متابولیسم گیاهان اشاره کرد. ماهیت کاربرپسند و بصری فناوری IR به دلیل چنین انتقال انرژی، برای مطالعه تغییر سریع دما در سطوح بیولوژیکی مناسب است؛ بنابراین دوربین‌های IR ابزارهای آموزشی بالقوه مفیدی برای نزدیک شدن به مفهوم تقاطع انرژی و ماده هستند. این دوربین نمایانگر نسل جدیدی از فن‌آوری تحقیق است که پتانسیل زیادی را در آموزش زیست‌شناسی نشان می‌دهد. در این مقاله مروری سعی در معرفی دوربین‌های IR برای مدارس و توانمندسازی دانش‌آموزان برای کشف علمی معتبر ارائه شده است. اطلاعات جمع‌آوری شده در این مقاله مربوط به مقالات سایت‌های گوگل، گوگل اسکولار، Scopus و Science Direct است. همچنین، مقالات بررسی شده در این تحقیق مربوط به سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۱ هستند. هدف این است که نشان دهیم چگونه فن‌آوری‌های پیشرفته توسعه یافته توسط صنعت می‌توانند به فناوری‌های یادگیری مؤثر برای حل مشکلات آموزشی تبدیل شوند.

کلیدواژه‌ها: IR، زیست‌شناسی، آموزش.

۱. استادیار، گروه علوم پایه دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران. نویسنده مسؤول: فیروزه علویان. رایانامه F.alavian.cfu.ac.ir

مقدمه

مدتی است که بخصوص پس از ظهور رایانه‌ها و اینترنت، نفوذ فناوری در فضای آموزشی در حال افزایش است. دسترسی به اینترنت به شما امکان می‌دهد کتابخانه‌ای جامع از منابع رایگان برای پشتیبانی از آموزش و یادگیری علوم در کلاس درس داشته باشید (Lee, Lee, & Kwon, 2011). در حالی که استفاده از فناوری‌های پشتیبانی شده توسط رایانه، تلفن هوشمند و اینترنت در آموزش زیست‌شناسی به خوبی مورد بررسی قرار گرفته است (Alavian, 2017)؛ مطالعات زیادی در زمینه فناوری‌های مبتنی بر تجهیزات آموزش تصویری مانند دوربین‌های تصویربرداری IR برای آموزش و یادگیری زیست‌شناسی صورت نگرفته است. ضرب‌المثل «یک تصویر، هزار کلمه می‌ارزد» بر اهمیت یادگیری تصویری در آموزش تأکید می‌کند. همچنان که در سال ۱۹۸۵، پروفیسور گالن اریکسون از دانشگاه بریتیش کلمبیا در صفحه ۵۹ در کتابی با عنوان ایده‌های کودکان در علوم نوشت: انتقال انرژی از بدن افراد به جسم قابل‌ردیابی و مشاهده عینی است (Erickson & Tiberghien, 1985). تصویربرداری IR اطلاعات بصری غنی در مورد یک روند در حال انجام را فراهم می‌کند که می‌تواند به سرعت قابل تشخیص باشد. تجسم‌های برجسته و بی‌درنگ IR از جریان‌های انرژی غیبی باعث می‌شود دانش‌آموزان برای کاوش عمیق‌تر تحریک شوند.

فناوری تصویربرداری حرارتی مبتنی بر این واقعیت است که همه اشیاء تشعشع حرارتی منتشر می‌کنند. طول‌موج تابش به دمای جسم بستگی دارد؛ برای دماهای معمولی روی زمین، این امواج عمدتاً در محدوده مادون‌قرمز (IR) یا فروسرخ هستند. امواج IR، در علم فیزیک بخشی از طیف امواج الکترومغناطیس هستند که طول‌موج بلندتر از نور مرئی و کوتاه‌تر از امواج رادیویی دارند (طول‌موج‌های ۷۵۰-۱۴۰۰۰ نانومتر در برابر ۷۰۰-۴۰۰ نانومتر). این امواج گروهی از پرتوهای نامرئی خورشیدی هستند که بعد از برخورد با جسم، سبب گرم شدن آن می‌شوند. در واقع، گرمای حس شده از یک محیط گرم یا خورشید، همان تشعشعات IR است و یک دوربین IR تشعشع ساطع شده از سطح جسم را تشخیص می‌دهد. با توجه به اینکه گرما نوعی انرژی است و به راحتی منتقل می‌شود؛ انسان درختان، آسمان، ابر و ... نور مادون‌قرمز را به صورت متفاوت از نور مرئی منعکس می‌کنند. مواردی مانند جانوران، گیاهان و

ابرها که نور مادون‌قرمز بیشتری را منعکس می‌کنند، روشن‌تر؛ و مواردی مانند آسمان‌های که منعکس‌کننده نور مادون‌قرمز نیستند، تیره‌تر به نظر می‌رسند. در واقع، در مواردی که سطوح گرم‌تر باشند، قرمز و سطوح سردتر به رنگ آبی درمی‌آیند (Vollmer & Möllmann, ۲۰۱۷).

دوربین‌های IR می‌توانند انرژی گرمایی اجسام را بدون نیاز به نزدیک شدن به نمونه‌ها تشخیص دهند. بیولوژیست‌های حرفه‌ای با استفاده از فیلترهایی با قدرت رنگ متنوع برای دوربین‌های IR، تصاویری جذاب و دیدنی ایجاد کنند. همراه با فرضیات میزان انتشار پذیری سطح، می‌توان دمای جسم را به صورت عددی و در امتداد یک مقیاس رنگی انتخاب‌شده بر روی صفحه‌نمایش محاسبه و نمایش داد. در علوم پزشکی، کاربردهای IR شامل تشخیص افزایش دمای بدن به دلیل عفونت یا گردش خون ضعیف ناشی از دیابت و ... است (Lahiri, Bagavathiappan, Jayakumar, & Philip, ۲۰۱۲). جدای از مصارف صنعتی و پزشکی، تصویربرداری IR در نمایش رفتارهای شبانه حیوانات در فیلم‌های حیات وحش، محبوبیت فزاینده‌ای یافته است که می‌تواند در جذابیت مباحث رفتاری کتب زیست‌شناسی دبیرستان مؤثر باشد (Cilulko, Janiszewski, Bogdaszewski, & Szczygielska, 2013).

کار با این دوربین‌ها راحت و به‌صرفه است. نسخه‌های کم‌هزینه دوربین IR مانند FLIR ONE و Seek Thermal می‌توانند مستقیماً به یک تلفن هوشمند یا لپ‌تاپ متصل شوند. به دلیل کاربردی و جذاب بودن، دوربین‌های IR به‌عنوان ابزارهای آموزشی در تمام سطوح آموزش زیست‌شناسی و علوم در حال شتاب گرفتن هستند. این فناوری بیشتر در مباحث فیزیک و شیمی به کار گرفته شده‌اند (Vollmer, Möllmann, Pinno, & Karstädt, ۲۰۰۱)، اما در علم زیست‌شناسی، با این ابزار فرصت‌های جالبی برای یادگیری مفاهیم مختلف و اصول زیست‌شناسی می‌توان فراهم کرد. در این مقاله، طیف وسیعی از حوزه‌های مختلف علوم زیستی که استفاده از دوربین‌های IR می‌توان یادگیری زیست‌شناسی توسط دانش‌آموزان را افزایش داد، توصیف می‌شوند. همچنین، سعی شده است با معرفی مثال‌های منتخب زیست‌شناسی ثابت شود که چگونه این رویکرد جدید می‌تواند درک و قدرت مشاهده دانش‌آموزان از پدیده‌های زیستی را گسترش دهد. این مثال‌ها به تجزیه و تحلیل کمی احتیاج ندارند و

به راحتی این امکان را فراهم می کنند که هر کسی که دوربین IR دارد، سریع آن را امتحان کند. ما این مقاله را به شکلی نوشته ایم که از بیان مطالب صرفاً نظری بیش از حد جلوگیری شود تا هر کسی که دارای سابقه علمی دبیرستان است بتواند پیامدهای علمی این آزمایش ها را درک کند. هر مثال با سؤالی هدایت می شود تا تحقیق بیشتر برای خواننده جالب باشد. در حالی که مطالعات تحقیقاتی متعددی در مورد استفاده از تصویربرداری IR در پزشکی و علوم دیگر وجود دارد، فقط به مقالات مربوط به استفاده از آن در آموزش زیست شناسی در مدرسه می پردازیم. اساس مطالعه ما، مقالات مبتنی بر کاربردهای این روش برای زیست شناسی جانوری، انسانی و گیاهی است.

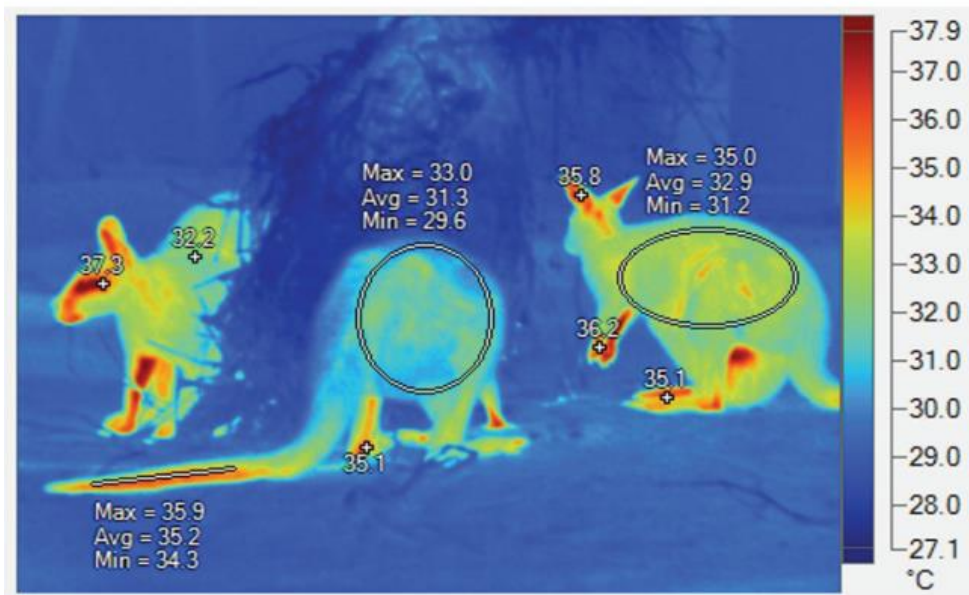
روش شناسی پژوهش

در این مقاله مروری سعی شده است دوربین های IR و اهمیت آن ها در آموزش زیست شناسی و توانمندسازی دانش آموزان برای کشف حقایق علمی معتبر ارائه شود. اطلاعات جمع آوری شده در این مقاله مربوط به مقالات سایت های گوگل، گوگل اسکولار، Scopus و Science Direct؛ در محدوده زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۱ است.

یافته های پژوهش

کاربردهای IR در بررسی عملکرد برخی از قسمت های بدن حیوانات

از تصویربرداری حرارتی مادون قرمز برای مطالعه حیوانات مختلف، چه در باغ وحش و چه در طبیعت استفاده شده است. تفسیر قابل توجه شکل ۱ این است که دمای تمام قسمت های بدن والابی (از انواع کیسه داران) یکنواخت نیست. به عنوان مثال، دمای نیمه پایینی دم والابی تقریباً ۴ درجه سانتیگراد بالاتر از قسمت عقب تنه آن است که با یک بیضی مشخص شده است. پنجه جلویی، ساق پای عقب و گوش، همانطور که مشخص شده است، به ترتیب تقریباً ۳، ۲ و ۳ درجه سانتیگراد گرم تر از تنه هستند. نواحی اطراف چشم گرم تر هستند؛ در حدود ۵ درجه سانتیگراد بالاتر از تنه (سمت چپ). بنابراین می توانیم



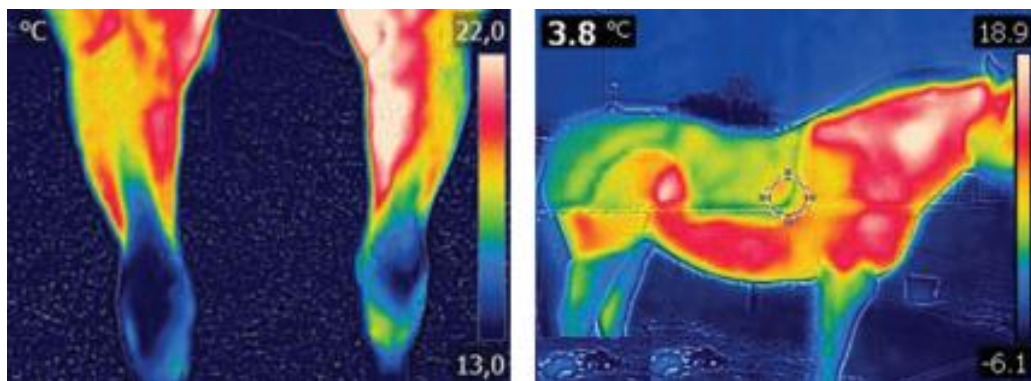
شکل ۱. تصویر حرارتی مادون قرمز از والابی (*Macropus parma*) در یک باغ وحش

استنباط کنیم که قسمت‌های مختلف بدن والابی، بر اساس واحد سطح، با اندازه‌های مختلف گرما را به اطراف پس می‌دهند. اندازه‌گیری دما به ضخامت پوشش مو در قسمت‌های مختلف بدن بستگی دارد. ضخامت این پوشش در نواحی اطراف چشم والابی نازک‌تر از پشت بدن آن است که احتمالاً تفاوت مشاهده شده را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین، در مناطقی که پوشش اسب کوتاه‌تر است، دما بالاتر است (Haglund & Schönborn, ۲۰۱۹). در مورد حیواناتی مانند سگ نیز بیشترین دما در بخش‌های لخت بدن آن‌ها ثبت شده است. لازم به ذکر است در مورد حیوانات فوق با استفاده از یک دماسنج معمولی نمی‌توانیم توزیع دما در سطح بدن آن‌ها را مطالعه کنیم. حتی اگر چندین دماسنج در مناطق مختلف پوست حیوان قرار داده شود، مقادیر به دست آمده دارای عدم دقت ذاتی است زیرا دمای اندازه‌گیری شده تحت اثر دمای محیط پیچیده‌تر می‌شود. علاوه بر این، اگر پروب‌های دمایی مستقیماً بر روی سطح پوست آن‌ها قرار گیرد، ممکن است حیوانات تحت فشار قرار بگیرند و این می‌تواند

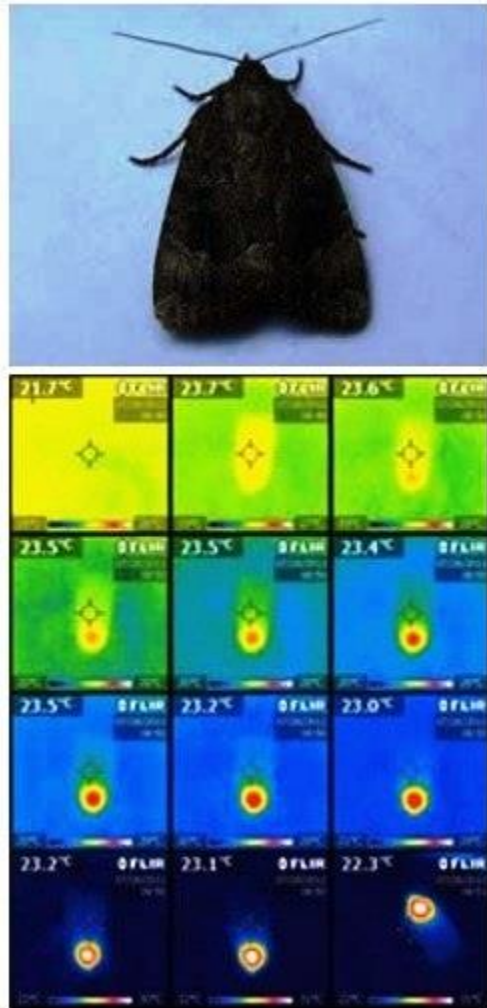
تفسیرهای خواننده شده را بیشتر پیچیده کند؛ بنابراین، تصویربرداری حرارتی IR راهی زیبا برای ثبت مشخصات توزیع دمای بدن حیوانات فراهم می کند (Wong & Subramaniam, 2020).

معلمان و دانش آموزان باید توجه داشته باشند که مطالعه حیوانات آبی با استفاده از تصویربرداری IR امکان پذیر نیست، زیرا آب، اشعه مادون قرمز ساطع شده توسط آبیان را جذب می کند. آنچه توسط دوربین مادون قرمز ثبت خواهد شد، درجه حرارت آب است، نه دمای حیوان مورد نظر در زیر سطح آب. همچنین، اگر حیوان در پشت دیواره شیشه ای باشد (به عنوان مثال در نمایشگاه باغ وحش)، نمی توان از تصویربرداری IR برای مطالعه حیوان استفاده کرد، زیرا اشعه مادون قرمز حیوان نمی تواند از شیشه عبور کند (Ohtsu & Uye, 2011; Wong & Subramaniam, 2020).

با یک دوربین IR، دانش آموزان می توانند درجه حرارت و مشخصات حرارتی پای ملتهب اسب را با پای سالم آن مقایسه کنند (شکل ۲، سمت چپ). علاوه بر این، در سازگاری با آب و هوای سرد، نژادهای مختلف اسب در زمستان پوشش ضخیمی ایجاد می کنند که همچنین منجر به افزایش تعریق در هنگام فعالیت آن ها می شود. برخی از صاحبان اسب ها برای جلوگیری از این امر، پوشش اسب های خود را کوتاه می کنند، اما پس از آن مجبورند اسب ها را در حالت استراحت بپوشانند تا بدنشان یخ نکند. در این راستا، دوربین IR به دانش آموزان کمک می کند تا جنبه های مختلف تنظیم حرارت بدن اسب را در شرایط مختلف دما و وضعیت فعالیت بدنی مطالعه کنند. به روشی مشابه، امکان تشخیص عملکرد پشم و مو به عنوان عایق در حیوانات برجسته می شود که به تأکید انرژی به عنوان یک مفهوم مقطعی در فیزیک و زیست شناسی کمک می کند (McCafferty, 2007).



شکل ۲. چپ) درجه حرارت پای عقب سمت راست اسب به دلیل التهاب بالاتر (بخش با درجه حرارت بالاتر، روشن‌تر است) از دمای پای عقب چپ است. راست) تصویر حرارتی از بدن اسب که در دمای ۶ درجه سانتیگراد زمستان و در فضای باز گرفته شده است. شکم و شانه‌ها که دارای درجه حرارت بالاتری نسبت به پشت و انتهای بدن هستند، در برابر سرما عایق هستند. به دمای پایین پاها توجه کنید، هر دو تصویر IR توسط دانش آموزان دبیرستان Lillerudsgymnasiet در سوئد با دوربین FLIR C3 گرفته شده است.



شکل ۳. تصاویر IR نشان دهنده گرمازایی در قفسه سینه پروانه. توجه داشته باشید که برای افزایش کنتراست این تصاویر از بازسازی خودکار رنگ استفاده شده است.

مثال دیگر، تغییر درجه حرارت بدن حشرات در زمان پرواز است. شکل ۳ نشان می‌دهد که چگونه بدن پروانه هنگام آماده شدن برای پرواز گرم می‌شود.

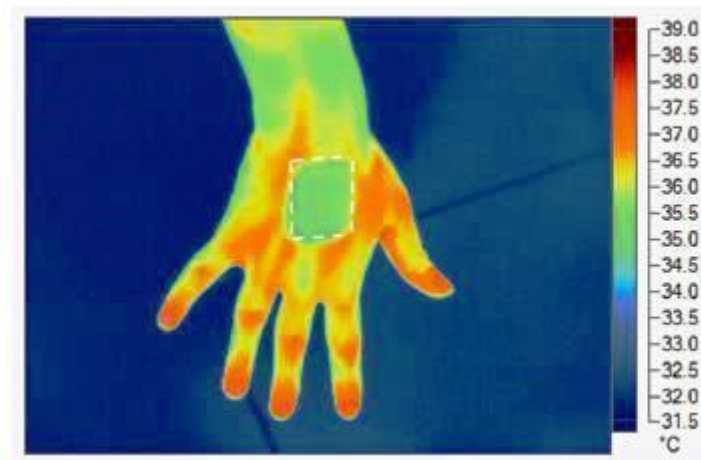
تصویربرداری حرارتی IR نشان می‌دهد هنگامی که پروانه در حال استراحت است، دمای بدن آن با دمای محیط مطابقت دارد. این بدان معناست که هنگام خواب گرما به محیط پس داده نمی‌شود؛ در واقع، با دید IR، دانش‌آموزان متوجه نوعی استراتژی هوشمندانه برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و محافظت در برابر شکارچیان می‌شوند. برای دیدن پروانه، مقداری هوای گرم به سمت آن دمیده می‌شود تا امکان دیدن شکل بدن آن از طریق دوربین IR فراهم شود. ترموگرام نشان می‌دهد که برای انجام حرکت، پروانه باید عضلات پرواز خود را تا بالای ۳۰ درجه سانتیگراد گرم کند. در این مشاهده، روند گرم شدن ۱-۲ دقیقه طول کشید. آخرین تصویر نشان می‌دهد که دما

برای پرواز مناسب است و پروانه شروع به حرکت می‌کند. با استفاده از دوربین IR غیر لمسی، دانش‌آموزان می‌توانند حرارت زایی مشابهی را در سایر حشرات پرنده مانند زنبورها و سنجاقک‌ها کشف کنند بدون اینکه مزاحمتی برای آنها ایجاد شود و یا توسط آنها نیش‌زده شوند (Xie, 2012).

انسان

دمای پوست انسان با شرایط خارجی (مانند دما و رطوبت محیط و همچنین لباس و جواهرات) و شرایط داخلی (مانند خون و وجود بیماری) متفاوت است. بسیاری از مطالعات IR بر روی پوست انسان برای اهداف پزشکی است (EF Ring, 2000). به‌عنوان مثال می‌توان به استفاده از تصویربرداری IR برای تشخیص و نظارت بر درد، تشخیص سرطان و غربالگری تب در سندرم تنفسی حاد (SARS) اشاره کرد (ALKAN; Castro et al., 2021; EFJ Ring & Ammer, 2012). از آنجا که تصویربرداری IR یک روش غیر تماسی و غیرتهاجمی برای اندازه‌گیری دما است، برای انسان کاملاً بی‌خطر است. علاوه بر کاربردهای پزشکی، استفاده از دوربین IR برای مطالعه دمای پوست انسان در آموزش زیست‌شناسی، ارزش زیادی دارد. در اینجا، به چند آزمایش ساده که به راحتی توسط دانش‌آموزان این گروه سنی قابل انجام است، اشاره می‌شود.

همه ما تجربه تزریق در بیمارستان یا کلینیک را داشته‌ایم. قبل از تزریق، پوست با پد الکل تمیز و ضدعفونی می‌شود و بلافاصله در آن ناحیه احساس خنکی می‌کنیم. این تجربه را در این آزمایش ساده بررسی می‌کنیم. ناحیه‌ای از پشت دست یک انسان با یک پد الکل ایزوپروپیل ۷۰٪ سواب داده می‌شود و بلافاصله از آن تصویر IR گرفته می‌شود. دمای ناحیه‌ای که با الکل سواب می‌شود تقریباً ۱ درجه سانتیگراد کمتر از پوست اطراف و خنک‌تر است. آنچه باید توجه داشته باشیم این است که در پروفایل حرارتی دست (شکل ۴)، تغییر رنگ بین دو منطقه که به‌عنوان شاخصی از تفاوت دما در نظر گرفته می‌شود، به وضوح مشخص است. توجه این موضوع این است که ایزوپروپیل الکل دارای نقطه جوش کم ۸۲٫۵ درجه سانتی‌گراد است، فرار است و در دمای اتاق به سرعت تبخیر می‌شود. تبخیر، گرما را از پوست دور می‌کند، در نتیجه آن قسمت از پوست خنک می‌شود (Erickson & Tiberghien, 1985). همچنین، در تحقیقی دیگر، نحوه ظاهر شدن صورت، گردن و دستهای انسان در یک تصویر حرارتی IR بررسی شد. درحالی‌که دمای داخلی بدن انسان به طور کلی پایدار است، دمای پوست



شکل ۴. پشت دست با ۷۰٪ الکل ایزوپروپیل سواپ می‌شود. به تفاوت رنگ نقاط دقت کنید.

می‌تواند تحت اثر عوامل مختلف بسیار متفاوت باشد. همانطور که در شکل ۵ دیده می‌شود، گونه‌ها و بینی خنک‌ترین بخش‌های صورت هستند. پشت دست نیز از کف دست خنک‌تر است. دانش‌آموزان اغلب در مدرسه می‌آموزند که دمای بدن انسان حدود ۳۷ درجه سانتی‌گراد است. معلمان می‌توانند با استفاده از تصویربرداری حرارتی IR تأکید کنند که آنچه آن‌ها می‌آموزند در واقع درجه حرارت داخلی

بدن است تا درجه

حرارت سطح بدن و

برخی تغییرات در درجه

حرارت سطحی بدن

وجود دارد

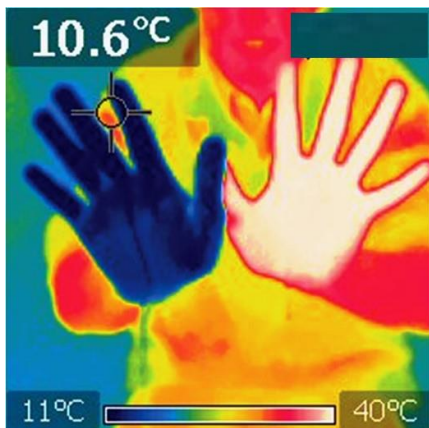
(Samuelsson,)

Elmgren, Xie, &

(Haglund, 2019).



شکل ۵. تصویر حرارتی IR انسان



شکل ۶. تصویر IR به دنبال غوطه‌ور شدن دستان در آب سرد (چپ) و گرم (راست) گرفته می‌شود.

در تحقیقی دیگر، Kubsch و همکاران (۲۰۱۷) آزمایشی را در آموزش مباحث فیزیولوژی انسان توصیف کردند که در آن دانش‌آموزان می‌توانستند به کمک دوربین IR، افزایش دمای موضعی بافت عضلانی هنگام ورزش را مشاهده کنند. با مقایسه وضعیت دمای سطح پاهای دانش‌آموزان در هنگام نشستن بر روی صندلی با زمانی که پاهای آن‌ها عمود بر دیوار قرار گرفته باشد، افزایش دما پس از ۴۰-۵۰ ثانیه قابل مشاهده است. در آزمایش‌های دیگر در مورد سیستم‌های حسی انسان، یک دوربین IR می‌تواند به دانش‌آموزان کمک کند تا نحوه ارتباط

حس لامسه با اندازه‌گیری دما را کشف کنند. به‌عنوان مثال، در دمای اتاق، به دلیل تفاوت در هدایت حرارتی مواد مختلف، فلز نسبت به چوب یا پلاستیک زودتر خنک می‌شود (Haglund, Jeppsson, Hedberg, & Schönborn, ۲۰۱۵). چرا هنگام مواجهه با جسم سرد احساس سرما می‌کنیم؟ همانطور که تشعشع حرارتی بین دو جسم به دو طرف پیش می‌رود، انتقال گرمای تابشی نیز جریان خالص انرژی تابشی از یکی به دیگری است. دلیل اینکه در هنگام مواجهه با یک جسم سرد احساس سرما می‌کنیم این است که بدن ما انرژی بیشتری نسبت به جسم سرد به جسم سرد می‌تاباند. به‌طور مشابه، دستی که از آب سرد به داخل آب ولرم منتقل می‌شود، احساس گرما می‌کند؛ اما دستی که از آب گرم به همان آب ولرم منتقل می‌شود، احساس سرما می‌کند (شکل ۶). این تمرین نشان می‌دهد که حس لامسه دماسنج قابل اعتمادی نیست (Jeppsson, Frejd, & Lundmark, ۲۰۱۷) و نیاز به ابزار دقیقی است که معرف این تغییرات باشد تا ذهن دانش‌آموز را به چالش بکشد. می‌توان تجربیات زندگی دانش‌آموزان را با دروس علوم ارتباط داد. مثلاً، هنگام بیرون آمدن از زیر دوش، پوست فرد احساس خنکی می‌کند. با استفاده از دوربین IR می‌توان مشاهده کرد که احساس خنک شدن ناشی از کاهش

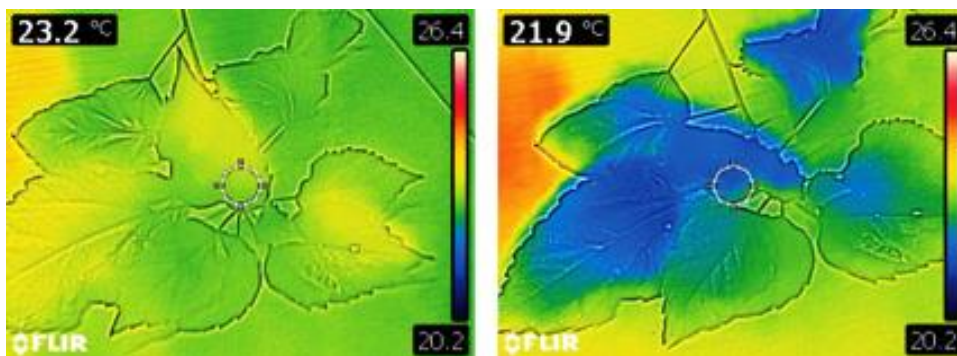
دما در اثر تبخیر آب از پوست است (Vollmer & Möllmann, 2017) که همچنین به عنوان مکانیسم اصلی تنظیم مجدد دما از طریق تعریق عمل می کند.

تصویربرداری حرارتی IR در مطالعه گیاهان

تصویربرداری حرارتی IR چندین کاربرد در مطالعه گیاهان دارد. به عنوان مثال، از تصویربرداری حرارتی IR برای بررسی فعل و انفعالات محیط گیاه از طریق هدایت روزنه ای (Costa, Grant, & Chaves, 2013)، فعل و انفعالات گیاه-پاتوژن (Chaerle & Van Der Straeten, 2001)، دست کاری ژنتیکی (Costa et al., 2013)، تکثیر گیاهان (Wisniewski, Lindow, & Ashworth, 1997)، ترموژن در گیاهان (Lamprecht, Schmolz, Blanco, & Romero, 2002) و جذب نور خورشید و گرم شدن شکوفه ها (Lamprecht, Maierhofer, & Röllig, 2006)، مطالعه واکنش محصولات به خشکسالی و کودها (Costa et al., 2013) استفاده می شود. گیاهان ترموژنیک گروه خاصی از گیاهان هستند که قادر به تولید مقدار قابل توجهی گرما هستند. دلایل گرم شدن می تواند بخار رایحه ها برای جذب گرده افشان ها، ایجاد پاداش حرارتی برای گرده افشان ها و یا برای محافظت از قسمت های حساس گل باشد (Lamprecht et al., 2002).

در یک تحقیق و به عنوان بخشی از آموزش مبحث گیاهی درزمینه جنبه های مربوط به انرژی فرآیندهای فتوسنتز و تنفس سلولی، دانش آموزان را با تصاویر IR گل بدبوی تیتان آروم¹ آشنا کرده اند که دمای بالاتری نسبت به محیط اطراف خود دارد. با افزایش متابولیسم گیاه، بوهای بدی شبیه به بوی گوشت فاسد ایجاد می شود. بوی نامطبوع این گیاه حشرات گرده افشان را جذب می کند (Donovan et al., 2013).

¹ titan arum



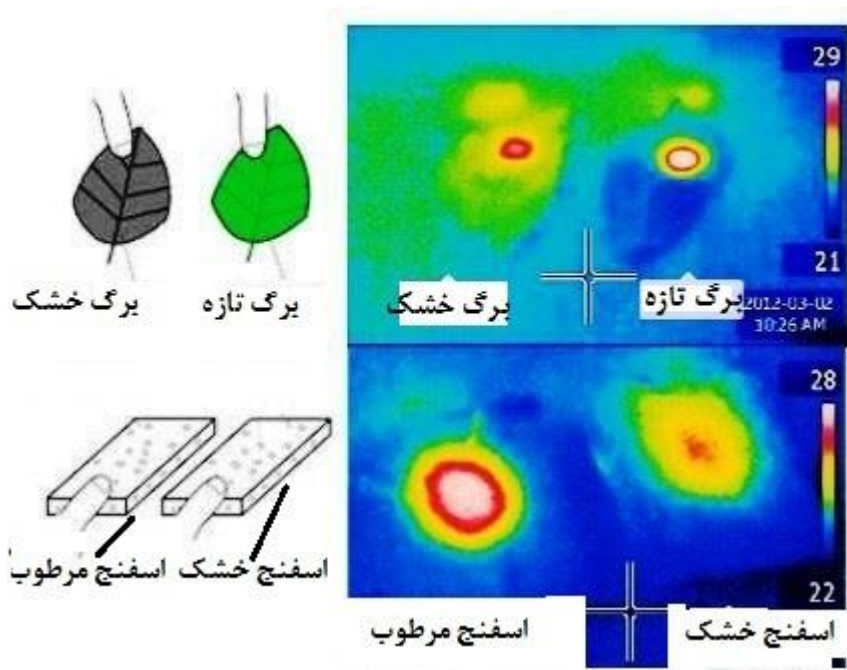
شکل ۷. تصاویر حرارتی با دوربین FLIR2 از سطح برگ یک دقیقه (چپ) و ۲۵ دقیقه (راست) پس از قطع شدن برگ از گیاه. تصویر سمت راست کاهش دما به دلیل باز شدن سریع روزنه (در نتیجه افزایش تعرق) را به عنوان یک واکنش استرس فیزیولوژیکی به کمبود آب نشان می‌دهد.

استفاده از دوربین‌های دستی IR برای آموزش زیست‌شناسی، نشان داده است که برگ‌های گیاهان که خوب آبیاری شده‌اند، می‌توانند دمای بسیار کمتری از محیط اطراف را نشان دهند (Xie, ۲۰۱۲). علاوه بر این، در فرایندی که به عنوان اثر ایوانف شناخته می‌شود (Jones, ۲۰۰۴)، قطع برگ یک گیاه باعث خنک شدن سطح برگ می‌شود؛ زیرا روزنه‌ها در ابتدا به دلیل کمبود آب به سرعت باز می‌شوند (شکل ۷).

چرا برگ‌های واقعی نسبت به برگ‌های خشک یا جعلی خنک‌تر به نظر می‌رسند؟

یکی از راه‌های تشخیص اینکه آیا یک گیاه خانگی تقلبی پلاستیکی است یا واقعی، دست زدن به سطح برگ‌های آن است. آیا از خود پرسیده‌اید که چرا با لمس کردن برگ‌های واقعی احساس خنکی می‌کنیم؟ اگر از طریق دوربین IR به برگ‌های جعلی یا واقعی نگاه کنید، چیزی نمی‌بینید زیرا هر دو در دمای محیط قرار گرفته‌اند. نکته اصلی این موضوع، ظرفیت گرمایی اضافی حاصل از آب موجود در برگ‌های واقعی است. اولین آزمایش (تصاویر فوقانی شکل ۷) ترموگرام یک برگ تازه و یک برگ خشک را پس از گرم شدن توسط انگشتان نشان می‌دهد. واضح است که دلیلی که باعث سردتر شدن برگ‌های واقعی این است که برگ تازه قادر به جذب گرمای بیشتری از انگشتان است. این اختلاف مربوط به آب ذخیره‌شده در لایه اسفنجی برگ تازه است که برگ خشک آن را ازدست داده است.

برای تأیید این نظریه، آزمایش دیگری را با استفاده از اسفنج مرطوب برای شبیه‌سازی یک برگ تازه و اسفنج خشک برای شبیه‌سازی یک برگ خشک انجام شده است (تصاویر پایین در شکل ۸).



شکل ۸
در این
دو

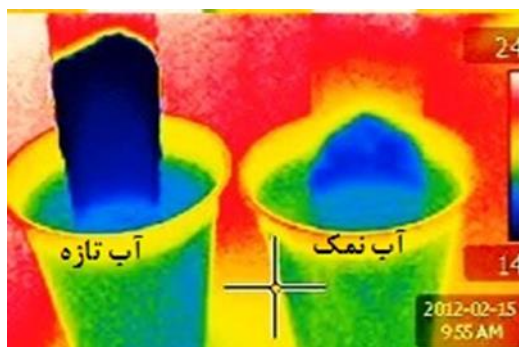
آزمایش انتقال گرما از انگشتان به یک برگ خشک و یک برگ تازه (بالا) و یک اسفنج مرطوب و یک اسفنج خشک (پایین) مقایسه شده است. نشان داده شد که گرمای بیشتری به یک برگ تازه منتقل می‌شود تا به یک اسفنج خشک و یک اسفنج مرطوب نسبت به یک اسفنج خشک، این نشان‌دهنده نقش محتوای آب در ذخیره انرژی گرمایی است.

آیا یون‌های نمک می‌توانند از طریق دیواره آوندهای گیاهان عبور کنند؟

گیاهان آب را همراه با مواد معدنی محلول از زمین را از طریق عملکرد موئینگی در مجاری آوند انتقال می‌دهند. آزمایش شکل ۹ این مکانیسم را با استفاده از دو نوار باریک کاغذی که به ترتیب بالای یک فنجان آب شیرین و یک فنجان آب شور آویزان شده‌اند، برای مقایسه افزایش نفوذپذیری با و بدون یون‌های نمک شبیه‌سازی می‌کند.

آب در هر دو نوار به سطح بالاتری پراکنده می‌شود؛ اما به نظر می‌رسد رنگ تصویر حرارتی IR نوار بالای آب شور کمتر آبی باشد و این نشان می‌دهد که تبخیر آب در آن ضعیف‌تر است. اگر اثر کاهش

فشار بخار را به خاطر داشته باشید، این تفاوت گواه انتشار یونها از آب شور به ورقه کاغذی است. ساعتی بعد، یون‌های نمکی که به صورت پراکنده پخش شده‌اند، به اندازه کافی جمع و متبلور شده و مسیر مویرگی را مسدود می‌کنند. در نتیجه قسمت فوقانی کاملاً خشک می‌شود. این می‌تواند دلیلی باشد که آب‌نمک، برخی گیاهان را از بین می‌برد (Xie, ۲۰۱۲). در توجیه می‌توان گفته که جریان همرفت در محیط آب شور بسیار کمتر بوده که باعث کند شدن تبادل حرارتی شده است.



نتیجه‌گیری

در آموزش و

زیست‌شناسی در

امروزی امری عادی

آنچه باید توجه

بحث و

استفاده از فناوری

یادگیری

فضای آموزشی

است. با این حال،

شکل ۹. اقدامات مویرگی آب شیرین و آب شور در دو نوار کاغذی گرفته‌شده توسط دوربین IR پس از گذشت ۱۸ ساعت.

داشته باشیم این است که این فناوری بیشتر مربوط به استفاده از رایانه و اینترنت و همچنین اخیراً تا حدی تلفن‌های هوشمند است. استفاده از سایر فناوری‌های پیشرفته مبتنی بر تجهیزاتی مانند دوربین‌های عکس‌برداری حرارتی IR در کلاس درس است. تصویربرداری IR رویکرد جدید آموزشی ایجاد کرده‌اند که نویددهنده انتقال سریع مفاهیم به دانش‌آموزان است (Xie & Hazzard, ۲۰۱۱). این ظرفیت

اجازه می‌دهد بسیاری از فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی نامرئی که گرما را جذب یا آزاد می‌کنند، تجسم، کشف و بررسی شوند. به‌نوعی، این فناوری فرصت‌های فراوانی برای دانش‌آموزان ایجاد می‌کند که قبلاً هرگز در کلاس تجربه نکرده‌اند. این فناوری به‌خوبی برای شناسایی و تجسم تفاوت‌ها و تغییرات دمای سطوح مناسب است که انجام آن با استفاده از دماسنج‌های معمولی کلاس و آزمایشگاه دشوار است. بنابراین، رویه‌های خسته‌کننده‌ای که در آزمایشگاه‌های زیست‌شناسی فعلی در مدارس معمول است، مقصر احتمالی در از بین بردن هیجان و سرگرمی علمی است. آنچه یک دوربین مادون‌قرمز می‌تواند بلافاصله نشان دهد و بگوید، ساعت‌ها طول می‌کشد تا دانش‌آموزان با استفاده از دماسنج یا حس‌گر به دست آورند. دانش‌آموزان می‌توانند مستقیماً بر روی مفاهیم علمی متمرکز شود و به‌سرعت می‌توان آن‌ها را به ماجراجویی علمی هدایت کرد. تردیدی نداریم که دوربین‌های IR این قابلیت را دارند که یک ابزار یادگیری بسیار جذاب باشند. دقیقاً مانند میکروسکوپ‌ها و تلسکوپ‌ها، دوربین‌های مادون‌قرمز ارزان‌قیمت نیز باید به آزمایشگاه‌های علوم مدارس اضافه شوند تا انقلابی در آموزش علوم ایجاد شود.

آزمایش‌های IR شرح داده‌شده در این مقاله نشان می‌دهد که تصویربرداری IR پتانسیل زیادی برای بهبود یادگیری و آموزش زیست دارد. دوربین‌های IR به یک فناوری آموزشی جذاب برای آموزش علوم تبدیل شده‌اند، که مکمل روش‌های اندازه‌گیری دماسنج سنتی است. اگرچه نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که فراگیران می‌توانند از طریق تصویربرداری IR مفاهیم حرارتی را توسعه دهند، دانش‌آموزان هنوز باید با مدل‌های علمی متناسب با پدیده‌های مورد مطالعه درگیر و آشنا شوند.

- Alavian, Dr. Firoozeh. (2017). Utilizing the sensory-empirical approach in the learning process. 3(8), 1-13 .
- ALKAN, Samet. THE IMPORTANCE OF USING THERMAL CAMERAS IN MEDICINE. *HEALTH & SCIENCE*, 347 .
- Castro, Renata Rodrigues Teixeira de, Neto, João Giffoni da Silveira, Alves, Leonardo de Souza Moreira, Moreno, Adalgiza Mafra, Orsini, Marco, & Castro, Roberta Rodrigues Teixeira de. (2021). Infrared thermography for risk reduction of nosocomial cross infections during the COVID-19 pandemic. *Millenium*(14 . ۱۹-۱۱),(
- Chaerle, Laury, & Van Der Straeten, Dominique. (2001). Seeing is believing: imaging techniques to monitor plant health. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Gene Structure and Expression*, 1519(3), 153-166 .
- Cilulko, Justyna, Janiszewski, Paweł, Bogdaszewski, Marek, & Szczygielska, Eliza. (2013). Infrared thermal imaging in studies of wild animals. *European Journal of Wildlife Research*, 59(1), 17-23 .
- Costa, J Miguel, Grant, Olga M, & Chaves, M Manuela. (2013). Thermography to explore plant–environment interactions. *Journal of experimental botany*, 64(13), 3937-3949 .
- Donovan, Deborah A, Atkins, LJ, Salter, IY, Gallagher, DJ, Kratz, RF, Rousseau, JV, & Nelson, GD. (2013). Advantages and challenges of using physics curricula as a model for reforming an undergraduate biology course. *CBE—Life Sciences Education*, 12(2), 215-229 .
- Erickson, Gaalen, & Tiberghien, Andrée. (1985). Heat and temperature. *Children’s ideas in science*, 52-84 .
- Haglund, Jesper, Jeppsson, Fredrik, Hedberg, David, & Schönborn, Konrad J. (2015). Thermal cameras in school laboratory activities. *Physics Education*, 50(4), 424 .
- Haglund, Jesper, & Schönborn, Konrad J. (2019). The pedagogical potential of infrared cameras in biology education. *The American Biology Teacher*, 81(7), 520-523 .
- Jeppsson, Fredrik, Frejd, Johanna, & Lundmark, Frida. (2017). “Wow, It Turned Out Red! First, a Little Yellow, and Then Red!” 1st-Graders’ Work With an Infrared Camera. *Journal of Research in Childhood Education*, 31(4), 581-596 .
- Jones, Hamlyn G. (2004). (Application of thermal imaging and infrared sensing in plant physiology and ecophysiology. *Advances in botanical research*, 41, 107-163 .

- Lahiri, BB, Bagavathiappan, S, Jayakumar, T, & Philip, John. (2012). Medical applications of infrared thermography :a review. *Infrared Physics & Technology*, 55(4), 221-235 .
- Lamprecht, I, Maierhofer, Christiane, & Röllig, Mathias. (2006). A thermographic promenade through the Berlin Botanic Garden. *Thermochimica acta*, 446(1-2), 4-10 .
- Lamprecht, I, Schmolz, E, Blanco ,L, & Romero, CM. (2002). Flower ovens: thermal investigations on heat producing plants. *Thermochimica Acta*, 391(1-2), 107-118 .
- Lee, Jun-Ki, Lee, Il-Sun, & Kwon, Yong-Ju. (2011). Scan & learn! Use of quick response codes & smartphones in a biology field study. *The American Biology Teacher*, 73(8), 485-492 .
- Mccafferty, Dominic J. (2007). The value of infrared thermography for research on mammals: previous applications and future directions. *Mammal Review*, 37(3), 207-223 .
- Ohtsu, Kohzoh, & Uye, Shin-Ichi .(2011) .Anomalous infrared taxis of an aquatic animal, the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa, Rhizostomeae). *The Biological Bulletin*, 221(3), 243-247 .
- Ring, EF. (2000). J, Ammer K. *The technique of infrared imaging in medicine. Thermology international*, 10, 7-14 .
- Ring, EFJ, & Ammer, Kurt. (2012). Infrared thermal imaging in medicine. *Physiological measurement*, 33(3), R33 .
- Samuelsson, Christopher Robin, Elmgren, Maja, Xie, Charles, & Haglund, Jesper. (2019). Going through a phase: Infrared cameras in a teaching sequence on evaporation and condensation. *American Journal of Physics*, 87(7), 577-582 .
- Vollmer, Michael, & Möllmann, Klaus-Peter. (2017). *Infrared thermal imaging: fundamentals, research and applications*: John Wiley & Sons.
- Vollmer, Michael, Möllmann, Klaus-Peter, Pinno, Frank, & Karstädt, Detlef. (2001). There is more to see than eyes can detect. *The Physics Teacher*, 39(6), 371-376 .
- Wisniewski, Michael, Lindow, Steven E, & Ashworth, Edward N. (1997). Observations of ice nucleation and propagation in plants using infrared video thermography. *Plant Physiology*, 113(2), 327-334 .
- Wong, Choun Pei, & Subramaniam, R. (2020). Use of technology in biology education—case of infrared thermal imaging. *Journal of Biological Education*, 1-13 .
- Xie ,Charles. (2012). Transforming science education with IR imaging. *InfraMation 2012 Proceedings*, 1-9 .

Xie, Charles, & Hazzard, Edmund. (2011). Infrared imaging for inquiry-based learning. *The Physics Teacher*, 49(6), 368-372 .